

To Cite This Article: İrdem, C. (2024). Sünnet Gölü (Göynük-Bolu) heyelanında dendrojeomorfolojik analizler. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 53, 228-241. <https://doi.org/10.32003/igge.1454262>

## SÜNNET GÖLÜ (GÖYNÜK-BOLU) HEYELANINDA DENDROJEOMORFOLOJİK ANALİZLER

### Dendrogeomorphological Analyses in Sünnet Lake (Göynük-Bolu) Landslide

Cemil İRDEM<sup>ID</sup>

#### Öz

Bu çalışmada Sünnet Gölü'nün (Göynük/Bolu) kuzeybatısında meydana gelen heyelan hareketlerinin dendrojeomorfolojik teknikler kullanılarak analiz edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında heyelan alanından alınan örneklerden 158 yıl uzunluğunda bir heyelan kronolojisi ve heyelandan etkilenmeyen alandan alınan örneklerden ise 376 yıl uzunluğunda bir kontrol kronolojisi oluşturulmuştur. Örnekler canlı ağaçlardan alınmıştır. Yıllık halka genişlikleri ölçüldükten sonra eşleştirme işlemi yapılmış, ölçüm hataları giderilmiştir. Heyelan alanından alınan örnekler ile kontrol kronolojisi oluşturulan sahadan alınan örneklerdeki büyüme farklılıkları incelenmiştir. Büyümede meydana gelen değişikliklerin iklimsel nedenlerle mi yoksa jeomorfolojik nedenlerle mi olduğunu tespit etmek amacıyla iklim-ağaç halkası ilişkileri incelenmiştir. Heyelan alanından alınan örneklerin yıllık halka analizleri sonucunda en yaşlısının 158 yaşında (1865 yılına ait) olduğu belirlenmiştir. Bu durum heyelan alanında ecesis aralığı da hesaba katıldığında 1850-1860 yılları arasında bir gençleşme olduğuna işaret etmektedir. Gençleşmede 1855 yılında meydana gelen 2 büyük depremin tetikleyici olduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca 1885 ve 1962 yıllarında da ikincil heyelan hareketlerinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sünnet Gölü, Dendrojeomorfoloji, Yıllık Halka, Tarihlendirme, Heyelan

#### Abstract

This study aimed to analyze the landslide movements that occurred in the northwest of Sünnet Lake (Göynük/Bolu) using dendrogeomorphological techniques. Within the scope of the study, a 158-year-long landslide chronology was created from the samples taken from the landslide area and a control chronology of 376 years was made from the samples taken from the landslide-unaffected area. Samples are taken from live trees. After the tree-ring widths were measured, the crossdating process was carried out and the quality of measurement were checked. The growth differences between the samples taken from the landslide area and the samples taken from the field where the control chronology was created were examined. Climate-tree-ring relationships were reviewed to determine whether the changes in growth were due to climatic or geomorphological reasons. As a result of the tree ring analysis of the samples taken from the landslide area, it was determined that the oldest was 158 years old (belonging to 1865). This result indicates a rejuvenation between 1850 and 1860 when the ecesis interval in the landslide area is considered. It has been evaluated that two major earthquakes in 1855 may trigger rejuvenation. In addition, it was concluded that there were secondary landslide movements in 1885 and 1962.

**Keywords:** Sünnet Lake, Dendrogeomorphology, Annual Ring, Dating, Landslide

\* Dr. Öğr. Üyesi, Karabük Üniversitesi, ✉ cemilirdem@karabuk.edu.tr

## GİRİŞ

Ülkemizi çok yakından ilgilendiren, can ve mal kaybına sebep olan deprem, sel gibi doğal afetlerden biri de heyelanlardır. Topografyanın şekillenmesinde ciddi ölçüde etkiye sahip olan heyelanlar, meydana geldiği sahalarda yerleşimler ve bitki örtüsü üzerinde beşerî ve fiziki açıdan önemli zararlara sebep olmaktadır (Durmuş, 2016). Belli aralıklara tekrarlayan ve periyodik gerçekleşme sıklıkları olan heyelanların geçmişteki aktivitelerini tespit etmek gelecekteki olası hareketlerinin büyüklüğünün ve zamanının belirlenmesine imkân verebilmektedir (Pınarcı & Çetin, 2012).

Topoğrafyanın şekillenmesinde etkisi olan belli başlı süreç ve etkenlerin, yıllık ağaç halkaları sayesinde tarihlendirilmesi ise dendrojeomorfoloji olarak adlandırılır (Schweingruber, 1989). ve bu alanda son senelerde ciddi gelişmeler sağlanmıştır. Genel olarak “süreç-olay-tepki” kavramlarına bağlı olan dendrojeomorfoloji çalışmaları dendrovolkanoloji, dendroglasoloji, kaya glasiyeleri, depremler, enkaz akışları, kaya düşmeleri, heyelanlar, flüvyal süreçler, çığlar ve kumul hareketleri gibi konu başlıklarını içermektedir (Avcı, 2013). Gerek tarihlendirilmeleri gerekse daha eski heyelanların tespitinde, heyelan sahalarındaki ağaçların yıllık halkalarındaki büyüme değişimleri analiz edilmektedir (İrdem, 2019).

Katastrofik süreçleri ilgilendiren yıllık halka araştırmalarında genel olarak iki yaklaşım tercih edilmektedir. Birincisi, örneğin bir heyelan sonucunda kopmayla gelen malzeme üzerinde büyümüş ağaçların minimum yaşlarının tespit edilmesidir. Bu şekilde en eski ağaçların tarihlendirilmesi, incelenen olayın gerçekleşmesinden sonra geçen süreyi tahmin etmeye yarar (örneğin 15 yıl, 17 yıl, 25 yıl). İkinci yaklaşım ise canlı ağaçlardan heyelan süreçlerinden zarar görenlerin yıllık halka paternlerinin analizidir. Hayatta kalan ağaçlarda darbeye rağmen yaralı dokunun büyümesi sürer. Yaralı dokunun gelişmeye başladığı sene ve aynı şekilde jeomorfolojik olay net olarak tarihlendirilebilir (Butler vd., 1987). Birinci yöntemde dikkat edilmesi gereken bir nokta yeni bir heyelan sahasında ağaçlar hemen gelişemediğidir. Bu sahalarda bitkilerin yetişebilmeleri için geçen zaman –ecesis aralığı – bitki türleri veya olayın meydana geldiği alanın iklim özellikleri gibi çeşitli etkenlere göre değişir (Avcı, 2013).

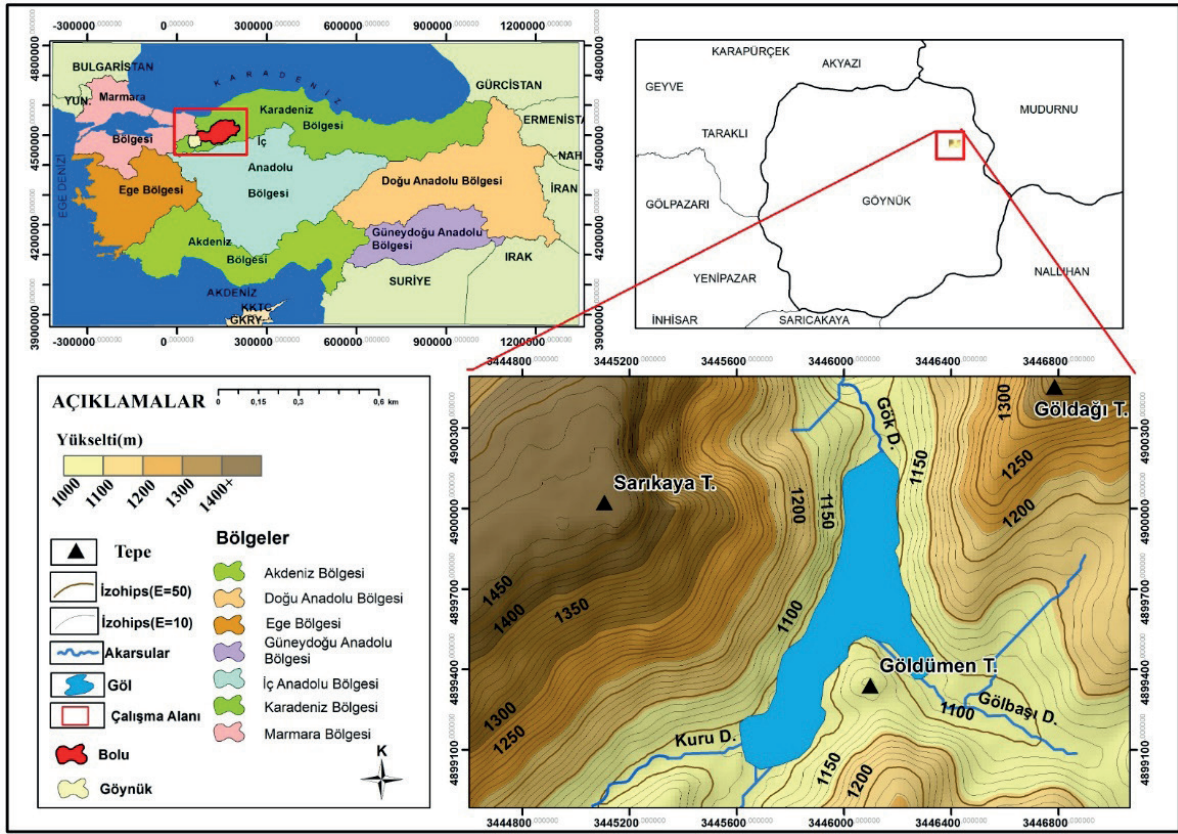
Yıllık halkaların genişliği analiz edilerek tespit edilebilen büyüme değişiklikleri 4 türe ayrılabilir: ölüm, halkalarda sıkışma, genişleme ve basınç odununun oluşumu (Shroder, 1978). Ağaçların heyelana yanıtını gösteren basınç odununun göz önünde bulundurulması önemlidir. Öyle ki ağaçlar heyelan anında yaralanabilir ya da belli yönlere eğilebilir. Ağaçlardaki yeni dokularla bu yaralar onarılır. Özellikle de koniferlerde eğilen ağaçlar ise süreç içerisinde gövdelerini doğrultmak amacıyla eğilen yön tarafına basınç odunu oluştururlar. Bu şekilde zararın meydana geldiği tarihi belirlenerek bir yaş elde edilir. Fakat hareket sürekli ve yavaşsa o zaman tarihlendirme mümkün olmaz (Clague, 2010).

Türkiye’de heyelan analizlerinde dendrokronolojik yöntemlerin kullanıldığı sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Aytuğ & Kılıç, 1993; Pınarcı & Çetin, 2012; Yaman vd., 2013; Durmuş, 2016; İrdem & Coşkun, 2021). Yapılan çalışmalarda gerek heyelan tarihlendirmeleri gerekse ikincil heyelanların frekans analizlerinin yapıldığı görülmektedir.

Dendrojeomorfolojik çalışmalarda heyelan analizlerinin yukarıda belirtilen yeri ve önemine dayanarak, bu çalışmanın amaçları (1) dendrojeomorfolojik teknikler kullanılarak Sünnet Gölü’nün (Göynük/Bolu) kuzeybatısında meydana gelen heyelanın yaşını belirlemek, (2) heyelan kronolojisi ile kontrol kronolojisi karşılaştırılmak suretiyle, birinci amaç doğrultusunda belirlenecek heyelan yılından sonraki yıllarda sahada başka heyelan yılları olup olmadığını belirlemek.

## Çalışma Alanının Konumu ve Genel Coğrafi Özellikleri

Sünnet Gölü, Bolu ilinin güneybatısında Mudurnu ve Göynük ilçeleri arasında bulunur ve heyelan sonucu oluşmuş bir set gölüdür. Yüzey alanı oldukça küçüktür (0.1 km<sup>2</sup>) ve küçük bir drenaj havzası (11 km<sup>2</sup>) ile yüksek birikme özellikleriyle karakteristiktir (Tunoğlu vd., 2012) (Şekil 1). Gök Dere’nin iki yanında gelişen heyelanlarla oluşan Sünnet Gölü çevresindeki heyelanlar, Kretase yaşlı kireçtaşı/marn ardalanması üzerinde meydana gelişmiştir. Batı kesimi heyelanı bloklu bir moloz akmasıdır ve tıkanmanın asıl sebebidir. Doğu kesimi heyelanı ise kama biçimli bir kaya kaymasıdır. Heyelanların tetikleyicisi bir deprem ya da uzun süreli güçlü bir yağış olabilir (Ocakoğlu vd., 2010).



Şekil 1. Çalışma alanının lokasyon haritası

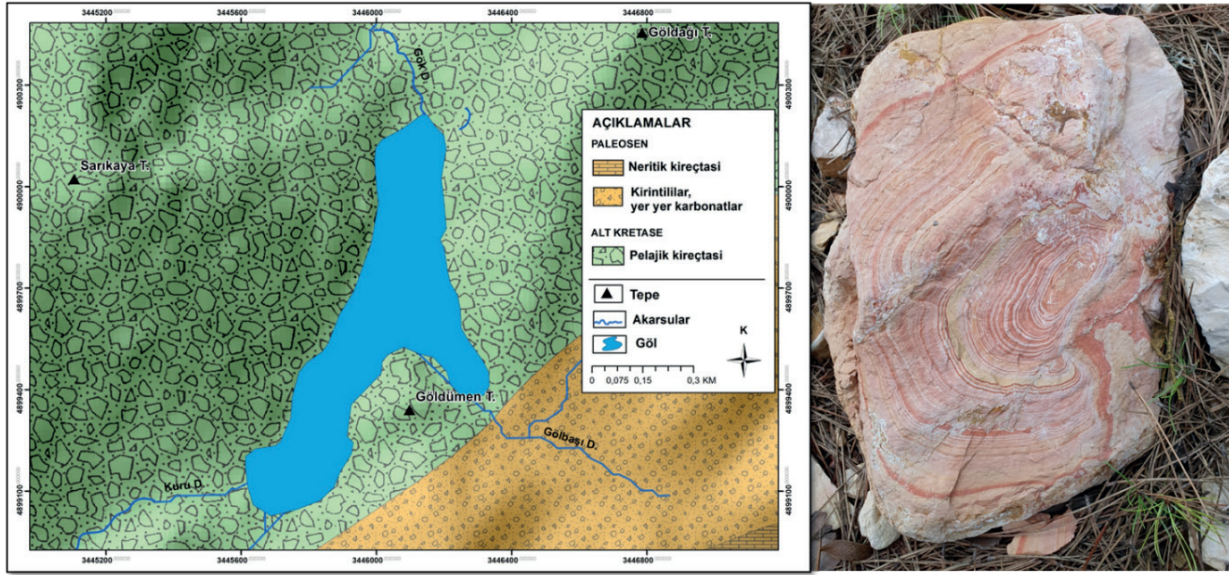
Heyelan sahasında egemen ağaç türü karaçamdır. Heyelan sahasının deniz seviyesinden yüksekliği topuk bölgesinde 1050 metre iken taç bölgesinde ise 1380 metreye kadar çıkmaktadır. Bugün gölün hemen kenarında bir mesire alanı bulunmaktadır (Fotoğraf 1).



Fotoğraf 1: Gölün kıyısında bulunan mesire alanından heyelan sahasının görünümü

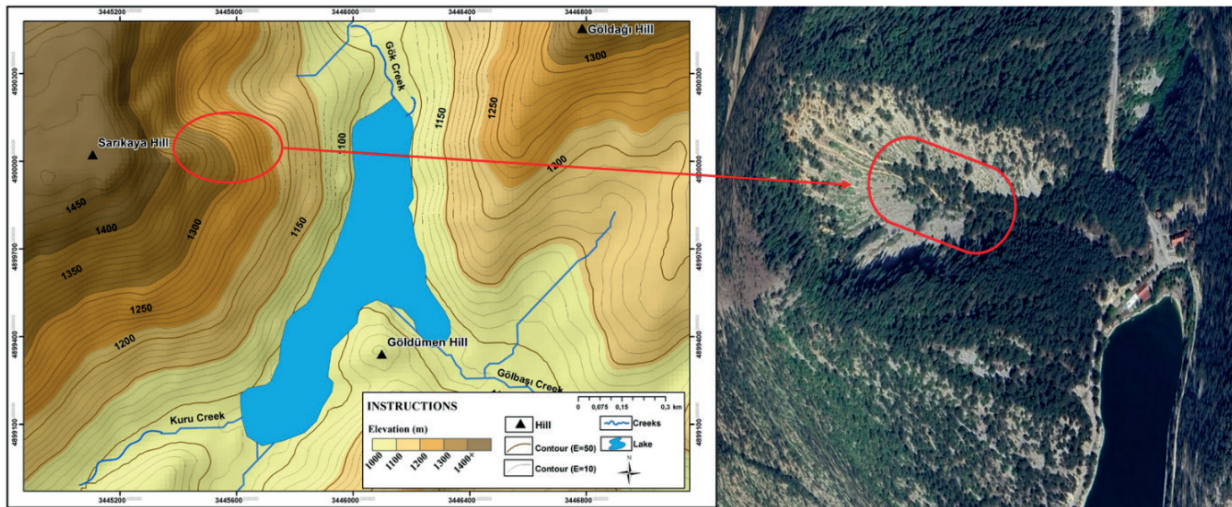
Çalışma sahasının iklim özellikleri incelendiğinde Göynük meteoroloji istasyonunda 1975-80 dönemi verilerine göre yıllık toplam yağışın 652 mm olduğu görülmektedir. Yıl içerisinde en fazla yağış %35 ile kış mevsiminde, en az ise %14 ile yaz mevsiminde düşer. Yıllık ortalama sıcaklık 10,6 °C iken yılın en soğuk ayı 0,9 °C ile ocak, en soğuk ayı ise 19,8 °C ile temmuzdur. Yıllık sıcaklık farkı 18,9 °C'dir. Sahada Erinç Yöntemi 'ne göre yarı nemli iklim tipi görülmektedir.

Sünnet Gölü ve çevresinde, faylanmalara uğramış kıvrımlı bir yapı yer almaktadır. Bu bölümde kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu kıvrım eksenleri bulunmaktadır. Bu sahanın en yaşlı jeolojik birimleri Alt Kretase yaşındaki kireçtaşları (kısmen de marnlı kalkerler) meydana getirir. Bunun dışında çalışma alanının güneydoğusunda Paleosen yaşındaki kalker, konglomera ve kumtaşları bulunur (Abdüsselamoğlu, 1959; Hoşgören & Ekinci, 2004; Türkiye Jeoloji Haritası 1: 500.000 ölçekli Zonguldak Paftası) (Şekil 2; Fotoğraf 1).



Şekil 2. Çalışma Sahasının litoloji haritası (solda) ve heyelan alanında killi kumtaşı (sağda)

Sünnet Gölü Havzası ve çevresi, yamaç eğimlerinin fazla olduğu bir kısmı dar ve derin vadilerle yarılan ve parçalanmış bir plato alanına karşılık gelir. Yükseltisi ortalama 1300 m civarında olan bu plato alanında, yer yer, yüksekçe tepe ve sırtlar da vardır (Hoşgören & Ekinci, 2004). Gölün batısındaki yüksek nokta olarak Sarıkaya Tepe (1485 m) ve doğusundaki yüksek nokta olarak ise Göldağ Tepe (1426 m) görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Heyelan alanı ve çevresinin topoğrafya haritası (solda) ve Google Earth görüntüsü (sağda). Heyelan Sarıkaya Tepeden göle doğru gerçekleşmiştir. Uydu görüntüsündeki kırmızı çerçeve içine alınan kısım örnekleme yapılan alanı göstermektedir.

## YÖNTEM

Çalışma kapsamında SGH koduyla bir heyelan kronolojisi ve SGK koduyla bir kontrol kronolojisi oluşturulmuştur. Heyelan kronolojisi için heyelan alanından 17 ağaçtan iki yönlü olarak 34 kalem örnek alınmıştır. Örneklerin heyelan nedeniyle eğilmenin olduğu taraftan ve onun tam karşısından olmasına dikkat edilmiştir. Arazi çalışması sırasında ağaçların konumu, gövde eğilme yönü ve örnek alınan artım kalemlerin hangi taraftan alındığı kayıt altına alınmıştır. Eğilme yönleri ve eğilme derecesi ağaçların buldukları yere göre farklılık göstermektedir (Fotoğraf 2). Kontrol kronolojisi oluşturulurken örnekler seçilen 16 ağaçtan alınmıştır. Kontrol kronolojisi baki, eğim, yükselti, litoloji vb. özellikler yönüyle heyelan kronolojisine benzer çevresel koşullara sahip, heyelan alanına kuş uçuşu yaklaşık 3 km batısındaki Köstek Köyü civarından ve 1200 metre yükseklikten alınan örneklerden oluşturulmuştur. Kontrol kronolojisi oluşturulurken reaksiyon odununa neden olabilecek topraktaki kaymaların etkisini bertaraf etmek için eğime dik olacak şekilde örnekleme yapılmıştır.

Örnekler canlı ağaçlardan 50 ve 60 cm uzunluğunda Haglöf artım burguları kullanılarak alınmıştır. Örnekler alınırken kontrol kronolojisi için yerden yaklaşık 130 cm yükseklikten, heyelan kronolojisi için ise ağaçlardaki eğilme noktalarından olmasına özen gösterilmiştir. Analiz için laboratuvara getirilen örneklerin aşpaz taşıyıcılara yerleştirildikten sonra enine kesitleri zımparalanmış, böylelikle halka sınırları belirgin hale getirilmiştir. Yıllık halka genişlikleri LINTAB-TSAP ölçüm sistemi ile 0,01 mm hassasiyetle ölçülmüş ve ölçüm sonuçları TSAP-WIN programında (Rinntech, Almanya) \*.rwl uzantılı dosyalara kaydedilmiştir. Heyelan ve kontrol kronolojileri oluşturulurken eşleştirme işlemi için COFECHA programından (Holmes, 1983) yararlanılmıştır. Bu sayede yalancı ve eksik halkalar kontrol edilmiş, ölçüm hataları giderilmiştir. ARSTAN programında Biweight Robust ortalama yöntemi seçilerek heyelan ve kontrol kronolojileri oluşturulmuş, yaşa bağlı etkileri gidermek amacıyla kronolojiler standardize edilmiştir (Cook vd., 1990).

Tüm örnekler tarihlendirildikten sonra, çap artımında görülen ani azalma veya artışlar gibi anomalilerin belirlenmesi için görsel analizler yapılmıştır. Heyelan alanından alınan örnekler ile kontrol kronolojisi oluşturulan sahadan alınan örneklerdeki büyüme farklılıkları incelenmiştir. Büyümede meydana gelen değişikliklerin iklimsel nedenlerle mi yoksa jeomorfolojik nedenlerle mi olduğunu tespit etmek amacıyla öncelikle iklim-ağaç halkası ilişkileri incelenmiştir. Yıllık halka gelişimi-iklim ilişkileri analiz edilirken Göynük meteoroloji istasyonunun veri süresi çok kısa olduğu için görece daha uzun dönemli iklim verisine sahip ve mesafe olarak heyelan sahasına kuş uçuşu 22 kilometre uzaklıkta yer alan Mudurnu meteoroloji istasyonunun sıcaklık ve yağış verileri kullanılmıştır. Yıllık halka gelişimi ile iklim verileri arasındaki ilişkilerin analizinde DENDROCLIM20002 (Biondi & Waikul, 2004) programından yararlanılarak Tepki Fonksiyonu katsayıları hesaplanmıştır.

## BULGULAR

### Dendrokronolojik Bulgular ve Yıllık Halka İklim İlişkileri

Çalışma kapsamında heyelan kronolojisinde 17 ağaçtan alınan 34 kalem örneğin ölçüm sonuçlarına eşleştirme işlemi için COFECHA programı çalıştırılmıştır. Bu işlemde sonra eşleştirme hataları giderilemeyen 7 kalem örnek kronolojiye dahil edilmemiştir. Geriye kalan 14 ağaçtan toplam 27 kalem örnekte oluşan heyelan kronolojisi 158 yıl uzunluğundadır ve 1865-2022 dönemini kapsamaktadır. Heyelan kronolojisine ait istatistik sonuçları içeren ARSTAN çıktıları Tablo 1'de ve ortak zaman aralığı istatistikleri ise Tablo 2'de verilmiştir. Yine 16 ağaçtan alınan örneklerden oluşan 376 yıl (1647-2022) dönemini uzunluğundaki kontrol kronolojisine ait istatistik sonuçları içeren ARSTAN çıktıları Tablo 1'de ve ortak zaman aralığı istatistikleri ise Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'deki istatistik sonuçlar incelendiğinde hem kontrol hem de heyelan kronolojisinde standart kronolojiden elde edilen sonuçların daha güçlü bulunması nedeniyle analizlerde standart kronolojiler tercih edilmiştir. Ortalama korelasyonlar başlığında verilen tüm korelasyonlar 0,99 güven düzeyinde anlamlıdır. Bu açıdan kronolojiler kullanmak için yeterlidir. Diğer taraftan sinyal gürültü oranı, yıllık halka kronoloji sayısına ve bu kronolojiler arasındaki ortalama korelasyon katsayılarına dayanarak, benzer etkilerden ne oranda etkilendiğini ortaya koyar. Bu değerin yüksek bulunması, ağaçlar arasındaki korelasyon katsayılarının yüksek ve örnek sayısının yeterli olduğunu göstermekte ve böylece iklim etkilerinin daha iyi incelenebileceğini ortaya koymaktadır (Akkemik, 2004). Tablo 2'de verilen sinyal gürültü oranı da çalışma için yeterince yüksek bulunmuştur.

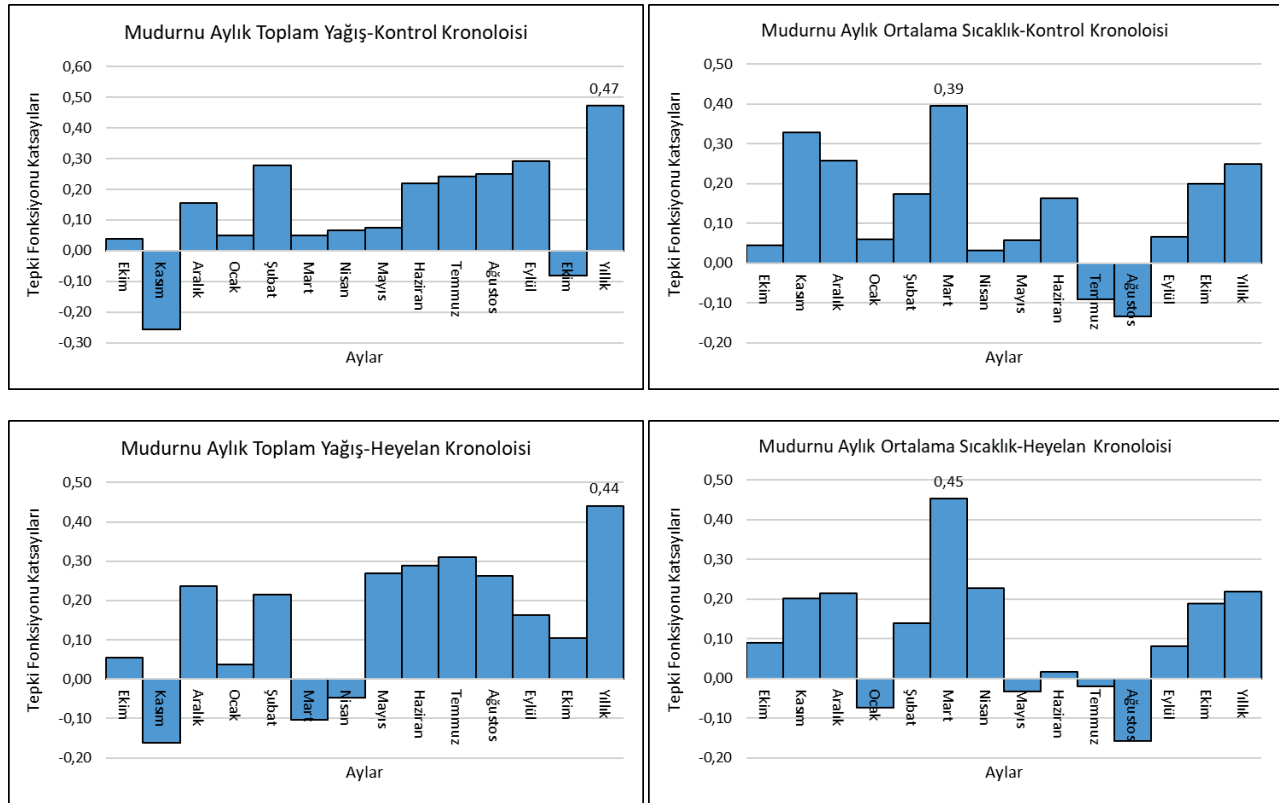
**Tablo 1.** Çalışma için oluşturulan standart ve residual yöre kronolojilerine ait istatistikler ("t" son halkanın oluşum yılını gösterir)

	SGH		SGK	
	Standard	Residual (AR3)	Standard	Residual (AR3)
Ortalama	0,9958	0,9844	0,9633	0,9899
Medyan	0,9700	0,9677	0,9587	0,9871
Ortalama duyarlılık	0,1741	0,1792	0,1689	0,2011
Standart sapma	0,2243	0,1580	0,2314	0,1722
Çarpıklık katsayısı	0,5080	0,3655	0,2350	0,0634
Basıklık katsayısı	0,4795	-0,4127	-0,3391	-0,854
Otokorelasyonlar				
t-1	0,4657	-0,0154	0,6049	-0,0144
t-2	0,2442	-0,0025	0,0900	-0,691
t-3	0,0067	0,0119	0,1599	0,0650

**Tablo 2.** Çalışma için oluşturulan standart ve residual yöre kronolojilerine ait ortak zaman aralığı istatistikleri

	SGH		SGK	
	Standard	Residual	Standard	Residual
Ortalama korelasyonlar				
Tüm kalemler arasında	0,345	0,330	0,384	0,325
Ağaçlar arasında	0,337	0,324	0,384	0,325
Ağaçları içinde	0,544	0,498	0,59	0,56
Ortalama ile kalemler arasında	0,607	0,593	0,651	0,610
Sinyal/Gürültü oranı	6,620	6,222	7,492	5,772
Popülasyon kronolojisiyle uyum	0,869	0,862	0,882	0,852
Birinci özvektörün varyansı	41,62%	39,290%	45,18%	38,99%
Kronoloji ortak aralık ortalaması	0,994	0,991	0,990	0,993
Kronoloji ortak aralık standart sapması	0,209	0,159	0,222	0,163

Kontrol kronolojisi ve heyelan kronolojisi ile Mudurnu meteoroloji istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış verileri arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla Tepki Fonksiyonu hesaplamaları yapılmıştır. Buna göre çalışma sahasında önceki yılın kasım ayı ve halka oluşum yılının ekim ayı yağışları dışında aylık toplam yağışlarla yıllık halka gelişimi arasında negatif ilişki söz konusudur. Kontrol kronolojisinde diğer aylarda yağışın arttığı yıllarda yıllık halka genişliklerinde artış olmaktadır. Heyelan kronolojisinde ise kontrol kronolojisinden farklı olarak yıllık halka gelişimi ile yağışlar arasında mart ve nisan aylarında çok zayıf da olsa negatif ilişki söz konusudur. Her iki kronolojide de yıllık toplam yağışlarla halka gelişimi arasında 0,95 güven düzeyinde istatistik açıdan anlamlı pozitif ilişki dikkati çekmektedir. Sıcaklık yıllık halka genişlikleri analiz edildiğinde kontrol kronolojisinde temmuz ve ağustos ayları sıcaklıklarının, heyelan kronolojisinde ise mayıs-ağustos dönemi ile ocak ayı ortalama sıcaklıklarının halka gelişimini negatif yönde etkilediği, diğer aylarda ise pozitif yönde etkilediği görülmektedir. Mart ayındaki pozitif korelasyon 0,95 güven düzeyinde istatistik açıdan anlamlıdır (Şekil 4).



**Şekil 4:** Kontrol ve heyelan kronolojileri için sıcaklık ve yağış koşullarıyla yıllık halka gelişimi arasındaki korelasyon değerleri (istatistik açıdan 0,95 güven düzeyinde anlamlı bulunan yıllık korelasyon değerleri grafik üzerinde etiketlenmiştir)

## Dendrojeomorfolojik Bulgular

Heyelan alanından alınan örneklerin yıllık halka analizleri sonucunda en yaşısının 158 yaşında (1865 yılına ait) olduğu belirlenmiştir. Bu durum heyelan alanında ecesis aralığı da hesaba katıldığında 1850-1860 yılları arasında bir gençleşme olduğunu düşündürmektedir. Heyelan alanının kuzeyindeki Sarıkaya Tepesi'nin kuzeyinden alınan örneklerde 300 yaşından fazla ağaçlara rastlanırken heyelan sahasındaki en yaşlı ağacın yaşının 158 civarında olması bu durumu desteklemektedir.

Heyelan alanından alınan örneklerden 12 ağaçta öz ağacın ortasında değildir. Yani eksantrik büyüme vardır (Fotoğraf 2). Reaksiyon odunu kar yığılması, eğim, rüzgar, ve toprak kayması vb. tek yönlü etkiyle ağaçlarda, gövdenin tek tarafında meydana gelen odun oluşumudur (Akkemik, 2004; Pınarcı & Çetin, 2012). Aynı zamanda reaksiyon odunu oluşumu hareketin yönünü gösterir. Kütle hareketinin kaymayla birlikte ağaca uyguladığı basınç, halka genişliklerini hareketin geldiği yönde daraltmakta karşı yönde ise artırmaktadır (Pınarcı & Çetin, 2012).



**Fotoğraf 2:** Bazı ağaçlarda eğim etkisiyle eğilmeler ve çarpılmalar bunlara bağlı olarak da reaksiyon odunu oluşumları gözlenmiştir. Görselde aynı ağacın alt ve üst tarafından alınan iki kalem görülmektedir. Soldaki kalem etkinin geldiği yönden yani ağacın üst tarafından alınırken sağdaki kalem ise ağacın alt tarafından yani etkiye zıt yönden alınmıştır.

Kontrol kronolojisi ile heyelan kronolojisi arasında 0,99 güven düzeyinde anlamlı bir ilişki söz konusudur. Yani iki kronoloji son derece uyumludur (Şekil 5). Bu uyum heyelan sahasında son 158 yıl içerisinde ağaçların yıllık halka gelişiminde iklim etkisi dışında daralmaya neden olabilecek mekanik etkilerin sınırlı düzeyde kaldığını göstermektedir. Kontrol kronolojisi ile heyelan alanından alınan örneklerden oluşturulan kronoloji karşılaştırıldığında bir heyelan hareketini işaret edebilecek yıl olarak 1962 yılı dikkati çekmektedir. Söz konusu yılda bir heyelan hareketi yaşanmış olması muhtemeldir. Çünkü 1962 yılında kontrol kronolojisinde yıllık halka genişliğinde artış gözlenirken heyelan kronolojisinde ise bir daralma görülmektedir. Heyelan alanını temsil eden yöre kronolojisini oluşturan örnekler ayrıca bireysel olarak da incelenmiştir. Buna göre kronolojiyi oluşturan 27 kalem örneğin 21 tanesinde yıllık halka genişliğinde daralmalar belirlenmiştir. Yıllık halkalarda gözlenen daralmanın mekanik bir sebeple olmuş olabileceğini destekleyen bir diğer kanıt da 1962 yılı için yıllık toplam yağışların 1961 yılına göre artmış olmasıdır. Eğer yağış faktörünün etkisine göre bir halka gelişimi olsaydı, yıllık halka genişliğinde kontrol kronolojisinde olduğu gibi bir artış olması beklenirdi. Çünkü tepki fonksiyonu sonuçlarına göre yıllık toplam yağışlarla yıllık halka gelişimi arasında

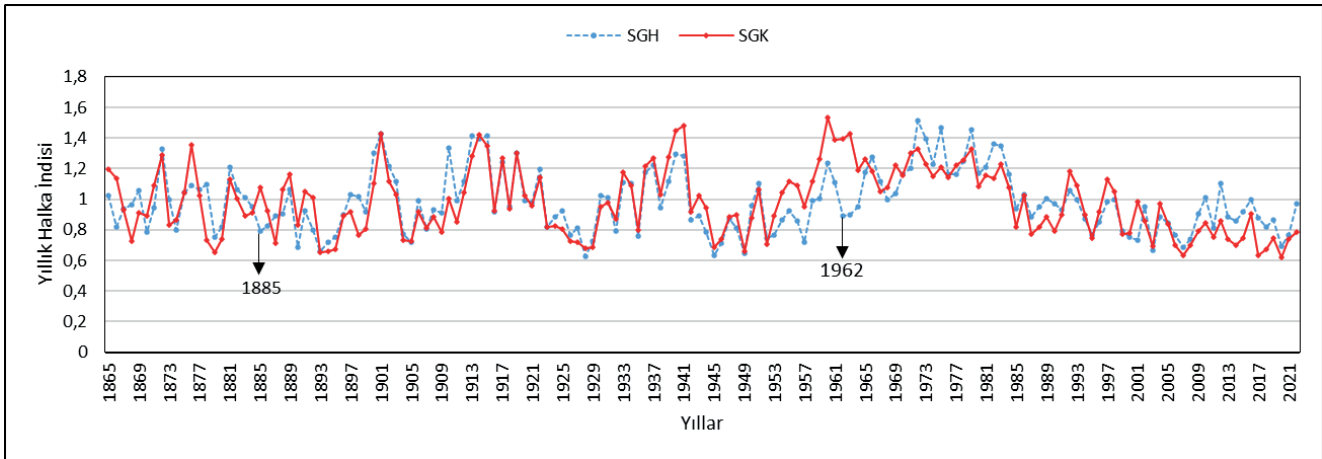
pozitif yönde anlamlı ilişki bulunmaktadır. Sıcaklık halka ilişkileri açısından tepki fonksiyonu sonuçlarına bakıldığında sıcaklıklarla yıllık halka gelişimi arasında en güçlü istatistik ilişki mart ayındaki pozitif yönde anlamlı ilişkidir (Şekil 4). 1962 yıl mart ayı ortalama sıcaklıkları da bir önceki yıla göre oldukça yüksektir (1961 yılı mart ayı sıcaklık ortalaması 4 °C iken 1962 yılı ortalama sıcaklığı ise 7 °C'dir). Bu sonuca göre de 1962 yılında halka genişliğinde artış olmalıdır. Ancak durum bunun tersi olmuştur.

1962 yılında gerçekleştiği değerlendirilen heyelanın etkisi halkalarda daralma olarak 3 yıl kendisini göstermiştir. Sonrasında normal büyüme devam etmiştir. Kontrol kronolojisinde ise 1962 yılı halka genişliğinde artışın olduğu bir yıl olarak görülmektedir (Fotoğraf 3).



**Fotoğraf 3:** 6 a ve 8a örneğinde 1962 yılı ve sonrasında halka genişliğinde görülen değişimler

1962 yılındakine çok benzer bir hareket 1885 yılında görülmektedir. Söz konusu dönemde heyelan kronolojisinde yıllık halka genişliğinde daralma olurken kontrol kronolojisinde halka ise genişliği artmıştır. 1885 yılına ait MGM'ye ait meteorolojik kayıtlar bulunmamaktadır. Ancak yapılan bazı dendroklimatolojik çalışmalar sonucu oluşturulan rekonstrüksiyonlarda (Akkemik vd., 2005; Köse vd., 2005) 1885 yılı ortalamaya göre çok yağışlı bir yıl olarak ifade edilmektedir. Buna göre yıllık halka genişliğinin bir önceki yıla göre artmış olması beklenir. Ancak kontrol kronolojisinde bu artış görülürken heyelan alanı kronolojisinde ise halkalarda daralma söz konusudur. Diğer taraftan 1886 ve 1887 yıllarında da heyelan kronolojisinde dar halkalar oluşmuştur. Ancak bu yıllarda kontrol kronolojinde de benzer bir durum olduğundan 1886 ve 1887 yıllarındaki daralmaların muhtemel bir heyelan hareketinden mi yoksa iklimdeki kuraklıktan mı kaynaklandığını söylemek zordur. Çünkü 1886 ve 1887 yılları bir çok çalışmada kurak yıl olarak belirlemiştir (Akkemik vd., 2005; D'Arrigo & Cullen, 2001; Hughes vd., 2001; Touchan vd., 2003). Tüm bu değerlendirmeler ışığında, 1885 yılında heyelan kronolojisinde kontrol kronolojisine zıt bir hareket tespit edilmiş olsa da 1886 ve 1887 yılındaki durumlar da dikkate alındığında 1885 yılında bir heyelanın olduğuna ilişkin yeterli kanıt var denilemez.



**Şekil 5:** Heyelan (SGH) ve kontrol (SGK) kronolojisi grafiği



## TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmada Sünnet Gölü'nün kuzeyinde yer alan heyelan sahası dendrokronolojik yöntemlerle alınan örnekler yardımıyla hareketleri incelenmiştir. Ocakoğlu vd (2010), Sünnet Gölü'nün sualtındaki çamur tabakasının kalınlığına ve elde ettikleri karot yaşlandırmasının sonuçlarına göre gölün yaşı 6900 yıl olarak bulmuşlardır. (Hoşgören & Ekinci, 2004), gölün yaşı ile ilgili daha önce radyometrik veya dendrokronolojik teknikler kullanılarak bir çalışma yapılmadığından gölün oluşum zamanının tespit edilemediğini, fakat heyelan üzerindeki yaranın çok yeni görünümünün heyelandaki bir tekrarlanmayı düşündürdüğünü ve bunun ise, heyelan sahasında bulunan ve daha sonraları yetişen karaçamların gövde genişlikleri ve ağaçları boyları düşünüldüğünde, olasılıkla birkaç onbeş yıl önce gerçekleştiğini ifade etmiştir. Bu çalışma kapsamında heyelan sahasında örneklenen ağaçların yaşları dikkate alındığında dendrokronolojik yöntemlerle gölün oluşum tarihinin belirlenmesi mümkün değildir. Ancak heyelan kronolojisini oluşturan ağaçların yaşları incelendiğinde ve ecesis süresi dikkate alındığında sahada 1850-1860 yılları arasında bir gençleşme, yinelenme meydana geldiği ve sahadaki ağaçların heyelanın etkisiyle öldüğü değerlendirilmiştir. Ecesis süresi ile ilgili (Clague, 2010) ağaçların yeni heyelan yüzeylerinde hemen tohumlanmadıklarını, yeni yüzeyin kullanılabilir hale geldiği zaman ile ağaçların üzerine yerleştiği zaman arasında ecesis aralığı olarak adlandırılan bir sürenin olduğunu, ecesis aralıklarının ise ağaç türüne, zeminin doğasına ve iklime bağlı olarak bir veya iki yıl ile neredeyse 100 yıl arasında değişebildiğini ifade etmektedir. Sünnet Gölü heyelan sahası ve çevresinde yapılan gözlemlere göre, sahada yarı nemli bir iklimin görülmesi, toprak türü ve derinliği, topoğrafik şartlar ve yakın çevrede ağaçlandırma yapılan alanlardaki büyüme hızları dikkate alındığında ecesis süresinin bu bölgede karaçamlar için 10 yıldan fazla olmadığı değerlendirilmiştir.

(Pınarcı & Çetin, 2012), Karaisalı'da sahada gerçekleşen kuvvetli yağışlardan ötürü 5 Ocak 2002 tarihinde meydana gelen heyelanı dendrokronolojik yöntemlerle analiz etmişlerdir. Çalışmalarında 1977 yılında sahaya önceki seneden daha az yağış düşmesine karşın yıllık halka genişliklerinin ciddi şekilde arttığını gözlemişlerdir. Şayet ağacın üzerinde herhangi bir fiziksel olayın etkisi (çığ, heyelan, rüzgar vb.) olmamışsa yıllık halka genişliklerinin yağışa paralel değişmesi beklendiğini, ancak yıllık halkalarla ve yağış arasındaki 1977 öncesi ve sonrası bir uyumsuzluğun görülmemesinin 1977 yılında bir heyelanın yaşandığına işaret ettiğini öne sürmüşlerdir. Bu çalışmada incelenen heyelan sahasında da 1885 ve 1962 yıllarında ağaç halkalarında bir önceki yıla göre gözlenen değişimlerin iklim-yıllık halka gelişimi ilişkisine uyumlu olmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla söz konusu yıllarda bir heyelan hareketi yaşanmış olabilir. (Yaman vd., 2013), Bartındaki Hanyeri heyelanının heyelandan etkilenen ağaçlarda büyüme üzerinde bir baskı oluşturduğunu tespit ettiklerini, ancak ağaçların birkaç yıl sonra radyal büyüme üzerindeki heyelan etkisini onarmayı başardıklarını tespit etmişlerdir. Sünnet Gölü'nün kuzeyinde 1885 ve 1962 yıllarında gerçekleşmiş olması muhtemel ikincil kaymaların etkileri de yıllık halka genişliğinde daralma olarak 3 yıl kendini göstermiştir. Sonrasında kontrol kronolojisiyle olan yüksek uyum devam etmiş ve normal büyüme sürmüştür.

(Pınarcı & Çetin, 2012), Haç Gediği (Karaisalı/Adana) heyelan sahasından aldıkları kızılçam örneklerinin tümünde eksantrik büyüme ve reaksiyon odunu oluşumu gözlemlediklerini belirtmişlerdir. Benzer şekilde bu çalışma da Sünnet Gölü heyelan sahasından alınan örneklerde de örneklerin büyük çoğunluğunda reaksiyon odunu gözlemlenmiştir.

(Hoşgören & Ekinci, 2004), Sünnet Gölü heyelanının oluşumunda yamaç eğim derelerinin çok olmasının (35° veya % 70 dolayında) ciddi bir etken olduğunu, kireçtaşı tabakalarının yamaca uygun yönde eğimli olmaları ve kırıklı, çatlaklı, bir özellikle olmaları ile Gök Dere tarafından yamacın alt kısmından oyulmasının da tetikleyici olmuş olabileceğini, heyelanın ne zaman meydana geldiği belirlenemediğinden, o dönemki yağış koşulları ve kar erimeleri ile ilgili bir şey söylenemeyeceğini, aynı konunun, heyelana neden olana deprem faktörü için de söz konusu olduğunu belirtmiştir. Aytuğ ve Kılıç (1993), Sünnet Gölü'ne kuş uçuşu 13 km uzaklıkta bulunan bir heyelan set gölü olan Sülüklü Göl'ün, dendrokronolojik yöntemlerle yapılan analizler sonucunda tektonik etkilerle 1702 veya 1703 yılında oluştuğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmada dendrojeomorfolojik olarak analiz edilen Sünnet Gölü'nü oluşturan ana heyelanın hangi süreçler tarafından tetiklendiği bilinmemektedir. Ancak 1850-1860 yılları arasına meydana geldiği değerlendirilen ikincil heyelanın tektonik etkilerle gerçekleşmiş olması muhtemeldir. Nitekim araştırma alanında heyelanı tetikleme muhtemel büyük depremlerin olup olmadığı incelenmiştir. Buna göre Mustafakemalpaşa (Bursa) merkezli 28 Şubat 1855 tarihinde bir depremin meydana geldiği tespit edilmiştir. Hatta bu depremin artçısı olarak da 11 Nisan 1855 tarihinin 7 büyüklüğünde bir deprem daha olmuştur (URL1, t.y.). Bu depremlerin merkezinin Sünnet Gölü'ne uzaklığı kuş uçuşu yaklaşık 200 km kadardır.

## ÖNERİLER

Dendrokronolojik yöntemlerin heyelan, deprem gibi jeomorfolojik süreçlerin aydınlatılmasında kullanımının yaygınlaştırılması yararlı olacaktır. Bu tür olayların hem tarihlendirilmesi hem de frekanslarının belirlenmesinde yıllık halka analizleri diğer yöntemlerle (Radyokarbon yöntemi, Coğrafi bilgi Sistemleri ve Uzaktan algılama vb.) birlikte kullanılırsa daha güçlü sonuçlar elde edilecektir.

## KATKI BELİRTME

Çalışmada kullanılan haritaların hazırlanmasındaki emeklerinden ötürü İmren ALKAN'a teşekkürü bir borç bilirim. İklim verileri için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne, arazi çalışmaları sırasında verdikleri destekler için Göynük Orman İşletme Müdürlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

## | EXTENDED ABSTRACT |

**Dendrogeomorphological Analyses in Sünnet Lake (Göynük-Bolu) Landslide**Cemil İRDEM **INTRODUCTION**

Among the natural disasters that profoundly concern our country and cause loss of life and property are landslides, earthquakes, and floods. Landslides, which significantly influence topographical formation, inflict substantial damage on settlements and vegetation in their occurrence areas, both from human and physical perspectives (Durmuş, 2016). Identifying the historical activities of recurrent landslides at specific intervals can facilitate the determination of the magnitude and timing of potential future events (Pınarcı & Çetin, 2012).

Dendrogeomorphology, the dating of key processes and factors shaping topography through annual tree rings, has seen notable advancements in recent years (Schweingruber, 1989). Generally rooted in the concept of “process-event-response,” dendrogeomorphological studies encompass various subjects such as dendrovolcanology, dendroglaciology, rock glaciers, earthquakes, debris flows, rockfalls, landslides, fluvial processes, avalanches, and dune movements (Avcı, 2013). In both dating and identifying older landslides, the growth variations in annual tree rings within landslide areas are analyzed (İrdem, 2019).

Annual ring research focusing on catastrophic processes typically adopts two approaches. Firstly, it involves establishing the minimum ages of trees growing on material deposited by landslides. This aids in estimating the time elapsed since the event (e.g., 15 years, 17 years, 25 years). Secondly, it analyzes the annual ring patterns of surviving trees affected by landslide processes. Trees continue to grow despite injuries, and the year the injured tissue initiates growth can precisely date geomorphological events (Butler et al., 1987).

Changes in growth detected through the analysis of annual ring widths can be categorized into four types: death, compression in rings, expansion, and the formation of reaction wood (Shroder, 1978). Trees can sustain injuries or incline in specific directions during landslides. These wounds are healed with the formation of new tissues. Consequently, determining the date of damage occurrence yields an age. However, dating becomes challenging if the movement is continuous and slow (Clague, 2010).

There are limited studies in Turkey utilizing dendrochronological methods for landslide analysis (Aytuğ & Kılıç, 1993; Pınarcı & Çetin, 2012; Yaman et al., 2013; Durmuş, 2016; İrdem & Coşkun, 2021). Existing research involves both landslide dating and frequency analyses of secondary landslides.

Given the significant role and importance of landslide analysis in dendrogeomorphological studies, this research aims to (1) determine the age of a landslide occurring northwest of Sünnet Lake (Göynük/Bolu) using dendrogeomorphological techniques and (2) compare the landslide chronology with a control chronology to ascertain whether there were other landslide years in the area following the determined landslide year.

**Location and General Geographic Features of the Study Area**

Sünnet Lake, situated between the Mudurnu and Göynük districts in the southwest of Bolu province, is a dam lake formed due to landslides. It has a small surface area (0.1 km<sup>2</sup>) and is characterized by a small drainage basin (11 km<sup>2</sup>) with high accumulation features (Tunoğlu et al., 2012).

The dominant tree species in the landslide area is black pine. While the elevation of the landslide area from sea level is 1050 meters at the foot region, it reaches up to 1380 meters at the crown region.

The area around Sünnet Lake features a folded structure affected by faults. Northeast-southwest-oriented fold axes are present in this region. The oldest geological units in this area consist of Lower Cretaceous-aged limestones (partly marly limestones). Additionally, Paleocene-aged limestones, conglomerates, and sandstones are found in the southeast of the study area (Abdüsselamoğlu, 1959; Hoşgören & Ekinçi, 2004; Geological Map of Turkey 1: 500,000 scale Zonguldak Sheet).

The Sünnet Lake Basin and its surroundings correspond to a plateau area intersected and fragmented by steep slopes and narrow, deep valleys. This plateau area, with an average elevation of about 1300 m, also features elevated hills and ridges in some places (Hoşgören & Ekinci, 2004). Sarıkaya Tepe (1485 m) to the west of the lake and Göldağ Tepe (1426 m) to the east are the highest points in the vicinity.

## METHODOLOGY

Within the scope of the study, a landslide chronology was established with the code SGH, and a control chronology was created with the code SGK. For the landslide chronology, 34 cores were sampled bidirectionally from 17 trees in the landslide area. Care was taken to sample from the side where the trees were bent due to the landslide and were directly opposite it. During fieldwork, the positions of the trees, the direction of trunk bending, and which side of the increment cores were taken from were recorded. The directions and degrees of bending vary depending on the location of the trees. For the control chronology, samples were collected from 16 selected trees. The control chronology samples were obtained from the vicinity of Köstek Village, approximately 3 km west of the landslide area, and at an altitude of 1200 meters, ensuring similar environmental conditions in terms of aspect, slope, elevation, lithology, etc., comparable to those of the landslide chronology.

The samples were collected using Haglöl increment borers from living trees. The annual ring widths were measured with a LINTAB-TSAP measurement system with a precision of 0.01 mm, and the measurement results were saved in \*.rwl extension files in the TSAP-WIN program (Rinntech, Germany). The COFECHA program (Holmes, 1983) matched landslide and control chronologies during the establishment. This ensured that false and missing rings were checked and measurement errors were rectified. Using the Biweight Robust mean method in the ARSTAN program, landslide and control chronologies were developed. Chronologies were standardized to eliminate age-related effects (Cook et al., 1990).

After all samples were dated, visual analyses were conducted to identify anomalies such as sudden decreases or increases in diameter growth. Growth differences between samples taken from the landslide area and those used to establish the control chronology were examined. The relationships between annual ring development and climate were initially investigated to determine whether the growth changes were due to climatic or geomorphological factors. When analyzing the relationship between annual ring growth and climate data, temperature and precipitation data from the Mudurnu meteorological station, located approximately 22 kilometers from the landslide area as the crow flies, were used due to the relatively longer period of climate data availability compared to the Göynük meteorological station. The DENDROCLIM20002 program (Biondi & Waikul, 2004) was employed to calculate Response Function coefficients.

## FINDINGS

### Dendrochronological Findings and Annual Ring-Climate Relationships

In the scope of the study, the COFECHA program was run to match the measurement results of 34 cores taken from 17 trees in the landslide chronology. After this process, seven core samples with uncorrectable matching errors were not included in the chronology. The remaining landslide chronology, consisting of 27 core samples from 14 trees, spans 158 years and covers 1865 to 2022. Statistical results for the landslide chronology contained in ARSTAN outputs are presented in Table 1, and common interval statistics are provided in Table 2. Similarly, statistical results for the control chronology, which consists of 376 years (1647-2022) of data from 16 trees, are presented in Table 1, with common interval statistics provided in Table 2. Upon examining the statistics in Table 2, standard chronologies were preferred in the analyses due to the stronger results obtained compared to those from the standard chronology in both control and landslide chronologies. All correlations provided under the “Average Correlations” heading are significant at a confidence level of 0.99, indicating that the chronologies are adequate for use.

**Table 1.** Statistics of the standard and residual region chronologies (“t” indicates the year of formation of the last ring)

	SGH		SGK	
	Standard	Residual (AR3)	Standard	Residual (AR3)
Mean	0,9958	0,9844	0,9633	0,9899
Median	0,9700	0,9677	0,9587	0,9871
Mean sensitivity	0,1741	0,1792	0,1689	0,2011
Standard deviation	0,2243	0,1580	0,2314	0,1722
Skewness	0,5080	0,3655	0,2350	0,0634
Kurtosis	0,4795	-0,4127	-0,3391	-0,854
Autocorrelations				
t-1	0,4657	-0,0154	0,6049	-0,0144
t-2	0,2442	-0,0025	0,0900	-0,691
t-3	0,0067	0,0119	0,1599	0,0650

Moreover, the signal-to-noise ratio, based on the number of annual ring chronologies and the average correlation coefficients among these chronologies, indicates to what extent similar effects are influenced. The high value of this ratio indicates that the correlation coefficients among trees are high and the sample size is sufficient, suggesting that climate effects can be better examined (Akkemik, 2004). The signal to noise ratio provided in Table 2 was found to be sufficiently high for the study.

	SGH		SGK	
	Standard	Residual	Standard	Residual
Mean correlations				
Between all radii	0,345	0,330	0,384	0,325
Between trees	0,337	0,324	0,384	0,325
Within trees	0,544	0,498	0,59	0,56
Radii vs mean	0,607	0,593	0,651	0,610
Signal-to-noise ratio	6,620	6,222	7,492	5,772
Agreement with population	0,869	0,862	0,882	0,852
Variance in first eigenvector	41,62%	39,290%	45,18%	38,99%
Chron common interval mean	0,994	0,991	0,990	0,993
Chron common interval standard deviation	0,209	0,159	0,222	0,163

Response Function calculations were conducted to determine the relationships between monthly mean temperature and monthly total precipitation data from the Mudurnu meteorological station and annual ring development. According to the results, there is a negative relationship between monthly total precipitation and annual ring development, except for the November rainfall of the previous year and the October rainfall of the ring formation year. In the control chronology, increases in annual ring widths are observed in years, with increased rainfall in other months. In contrast, in the landslide chronology, a weak negative relationship is observed between tree ring growth and rainfall in March and April, although different from the control chronology. In both chronologies, statistically significant positive relationships at the 0.95 confidence level are observed between annual total precipitation and ring development. When analyzing the relationship between temperature and annual ring widths, it is observed that July and August temperatures in the control chronology and temperatures from May to August and average temperatures in January in the landslide chronology negatively affect ring development, while they have a positive effect in other months. The positive correlation in March is statistically significant at the 0.95 confidence level.

## Dendrogeomorphological Findings

As a result of the annual ring analyses of samples taken from the landslide area, it was determined that the oldest tree was 158 years old (dating back to 1865). Considering the ecesis interval in the landslide area, this suggests a rejuvenation between 1850-1860. While trees older than 300 years were found in samples taken north of Sarıkaya Tepe, the fact that the oldest tree in the landslide area is around 158 years old supports this interpretation.

In 12 trees sampled from the landslide area, the main axis of the tree is not in the center, indicating eccentric growth. Reaction wood formation occurs on one side of the trunk due to unidirectional effects such as snow accumulation, slope, wind, and soil movement (Akkemik, 2004; Pınarcı & Çetin, 2012). Additionally, reaction wood formation indicates the direction of movement. The pressure applied to the tree by mass movement and sliding narrows the ring widths in the direction of movement and widens them in the opposite direction (Pınarcı & Çetin, 2012).

A statistically significant relationship at the 0.99 confidence level exists between the control chronology and the landslide chronology. This indicates that the two chronologies are highly compatible. This compatibility suggests that mechanical effects causing shrinkage in the annual ring development of trees within the last 158 years in the landslide area have remained limited, apart from the climatic effect. Compared with the chronology created from samples taken from the landslide area, 1962 stands out as a year that may indicate a landslide movement. In 1962, while an increase in annual ring width was observed in the control chronology, a contraction was observed in the landslide chronology. The samples representing the landslide area were also individually examined. Accordingly, contractions in annual ring widths were identified in 21 of 27 core samples constituting the chronology. Another evidence supporting the possibility of a mechanical cause for the observed shrinkage is the increase in total rainfall in 1962 compared to 1961. If there had been a growth response according to the rainfall factor, an increase in annual ring width similar to that in the control chronology would have been expected. This is because the response function results show a statistically significant positive relationship between total yearly rainfall and tree ring growth. Regarding temperature-ring relationships, the most statistically significant is the positive correlation in March. The average temperatures in March 1962 are also considerably higher than those in the previous year (the average temperature in March 1961 is 4°C, while the average temperature in 1962 is 7°C). Therefore, an increase in ring width would be expected in 1962. However, the opposite occurred.

A very similar movement to that of 1962 was observed in 1885. During this period, while there was shrinkage in annual ring width in the landslide chronology, there was an increase in ring width in the control chronology. There are no meteorological records for 1885 from the MGM. However, some dendroclimatological studies have described 1885 as a very rainy year based on reconstructions (Akkemik et al., 2005; Köse et al., 2005). Accordingly, an increase in annual ring width compared to the previous year would be expected. However, while this increase is observed in the control chronology,

shrinkage is observed in the rings of the landslide area chronology. Furthermore, narrow rings are observed in the landslide chronology in 1886 and 1887. However, since a similar situation has been observed in the control chronology over the years, it is difficult to determine whether the contractions in 1886 and 1887 resulted from a possible landslide movement or drought in the climate. Because 1886 and 1887 have been identified as drought years in many studies (Akkemik et al., 2005; D'Arrigo & Cullen, 2001; Hughes et al., 2001; Touchan et al., 2003).

In light of all these evaluations, although a movement contrary to the control chronology has been identified in the landslide chronology in 1885, considering the situations in 1886 and 1887, it cannot be said that there is sufficient evidence for a landslide in 1885.

## DISCUSSION AND CONCLUSION

This study used dendrochronological methods to examine the movements in the landslide area north of Lake Sünnet. Ocakoğlu et al. (2010) determined the age of Lake Sünnet to be 6900 years based on the thickness of the underwater mud layer and the results of their core dating. Hoşgören & Ekinci (2004) suggested that the recent wound on the landslide likely occurred a few decades ago, considering the trunk widths and tree heights of the Scots pines growing in the landslide area.

Considering the ages of the trees sampled in the landslide area within the scope of this study, it is not possible to determine the formation date of the lake by dendrochronological methods. Nevertheless, an evaluation of the ages of the trees forming the landslide chronology and considering the establishment interval suggests rejuvenation or resettlement between 1850 and 1860, leading to the death of trees in the area due to the effects of the landslide.

Pınarcı & Çetin (2012) analyzed the landslide that occurred on January 5, 2002, in Karaisalı due to heavy rains and observed a significant increase in annual ring widths in 1977 despite less rainfall than the previous year. Similarly, in the landslide area examined in this study, it was found that the changes observed in tree rings in 1885 and 1962 were not consistent with the climate-annual ring development relationship, indicating a landslide movement in those years.

Aytuğ & Kılıç (1993) analyzed the Sülüklü Göl, a landslide dam lake located 13 km as the crow flies from Lake Sünnet, and determined through dendrochronological analyses that it formed in 1702 or 1703 due to tectonic effects. It is unknown which processes triggered the main landslide forming Lake Sünnet, but the secondary landslide, estimated to have occurred between 1850 and 1860, likely happened due to tectonic effects. Investigating whether major earthquakes that could trigger landslides occurred in the research area revealed an earthquake centered on Mustafakemalpaşa (Bursa) on February 28, 1855, and an aftershock on April 11, 1855, with a magnitude of 7 (URL1, n.d.). The distance from the epicenters of these earthquakes to Lake Sünnet is approximately 200 km.

## KAYNAKÇA / REFERENCES

- Abdüsselamoğlu, M. Ş. (1959). Almacık Dağı ile Mudurnu ve Göynük Civarının Jeolojisi (Jeology of Mudurnu and Göynük vicinity with Almacık Mountain). *İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi Monografileri*, 14.
- Akkemik, Ü. (2004). *Dendrokronoloji*. İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Akkemik, Ü., Dağdeviren, N. & Aras, A. (2005). A preliminary reconstruction (AD 1635–2000) of spring precipitation using oak tree rings in the western Black Sea region of Turkey. *International Journal of Biometeorology*, 49, 297-302. <https://doi.org/10.1007/s00484.004.0249-8>
- Avcı, M. (2013). Dendrokronoloji ve Jeomorfoloji: Dendrojeomorfoloji. İçinde E. Öner (Ed.) Prof. Dr. İlhan KAYAN'a Armağan (ss. 387-406). Ege Üniversitesi, İzmir.
- Aytuğ, B., & Kılıç, A. (1993). Contribution d'une étude dendrochronologique à la constatation de l'âge du lac Sülük (Bolu). *Proceeding 5th Optima Meeting, Istanbul*, 8-15.
- Biondi, F., & Waikul, K. (2004). DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computers & geosciences*, 30(3), 303-311.
- Butler, D. R., Malanson, G. P. & Oelfke, J. G. (1987). Tree-ring analysis and natural hazard chronologies: minimum sample sizes and index values. *The Professional Geographer*, 39(1), 41-47. <https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1987.00041.x>
- Clague, J. J. (2010). Dating Landslides with Trees. İçinde M. Stoffel, M. Bollschweiler, D. R. Butler, & B. H. Luckman (Ed.), *Tree Rings and Natural Hazards* (C. 41, ss. 81-89). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-8736-2\\_7](https://doi.org/10.1007/978-90-481-8736-2_7)
- Cook, E. R., Shiyatov, S. & Mazepa, V. (1990). Estimation of the mean chronology. In *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. İçinde *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences* (ss. 123-132). Springer Science & Business Media.
- D'Arrigo, R. & Cullen, H. M. (2001). A 350-year (AD 1628–1980) reconstruction of Turkish precipitation. *Dendrochronologia*, 19(2), 169-177.
- Durmuş, M. (2016). *Akdağ Heyelanı (Batı Toroslar)nın Kuzeydoğu yamacındaki ikincil heyelanların dendrojeomorfolojik açıdan analizi*. (Yüksek lisans tezi, İstanbul Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul).

- Holmes, R. L. (1983). Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-ring Bulletin*, 43, 69-78.
- Hoşgören, M. Y. & Ekinci, D. (2004). Heyelan set göllerine tipik bir örnek: Sünnet Gölü. *Coğrafya Dergisi*, 12, 1-11.
- Hughes, M. K., Kuniholm, P. I., Eischeid, J. K., Garfin, G., Griggs, C. B. & Latini, C. (2001). Aegean tree-ring signature years explained. *Tree Ring Research*, 51(1), 67-74.
- İrdem, C. (2019). *Elmacık dağı ve yakın çevresinin dendroklimatolojik ve dendrojeomorfolojik yöntemlerle analizi*. (Yüksek lisans tezi, Karabük Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Karabük).
- İrdem, C. & Coşkun, M. (2021). *Dokurcun Fayımın (Akyazı-Dokurcun/Sakarya) Kuzeyinde Yer Alan Heyelan Hareketlerinin Dendrojeomorfolojik Yöntemlerle İncelenmesi*. 3. Ulusal Heyelan Sempozyumunda sunulmuştur, Ankara, Türkiye.
- Köse, N., Akkemik, Ü. & Dalfes, H. N. (2005). Anadolu'nun iklim tarihinin son 500 yılı: Dendroklimatolojik ilk sonuçlar. *Türkiye Kuvaterner Sempozyumu-TURQUA-V*.
- Ocakoğlu, F., Açıkalin, S., Yılmaz, İ. Ö., Tunoğlu, C., Oybak Dönmez, E., Akbulut, A., Erayık, C. & Kır, O. (2010). *Sünnet Gölü'nün (Göynük, GB Anadolu) batimetrik ve morfolojik özellikleri*. 63. Türkiye Jeoloji Kurultayı.
- Pınarcı, E. & Çetin, H. (2012). Haç Gediği Heyelanının (Karasisalı-Adana) Ağaç halkaları yöntemiyle analizi. *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(1), 130-141.
- Schweingruber, F. H. (1989). *Tree Rings Basics and Applications of Dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers, Holland
- Shroder, J. F. (1978). Dendrogeomorphological analysis of mass movement on Table Cliffs Plateau, Utah. *Quaternary Research*, 9(2), 168-185. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(78\)90065-0](https://doi.org/10.1016/0033-5894(78)90065-0)
- Touchan, R., Garfin, G. M., Meko, D. M., Funkhouser, G., Erkan, N., Hughes, M. K. & Wallin, B. S. (2003). Preliminary reconstructions of spring precipitation in southwestern Turkey from tree-ring width. *International Journal of Climatology*, 23(2), 157-171. <https://doi.org/10.1002/joc.850>
- Tunoğlu, C., Ocakoğlu, F., Açıkalin, S., Yılmaz, İ. Ö., Dönmez, E. O., Akbulut, A., Erayık, C., Kır, O. & Tuncer, A. (2012). *Erken-Orta Holosen Sünnet Gölü (Göynük/Bolu) taraçalarında ostrakod fauna dağılımı: Paleoklimatolojik ve paleoortamsal değerlendirmeler*.
- Türkiye Jeoloji Haritası 1: 500.000 ölçekli Zonguldak Paftası. (t.y.). *Türkiye Jeoloji Haritası 1: 500.000 ölçekli Zonguldak Paftası* [Map]. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- URL1. (t.y.). [http://neic.usgs.gov/neis/eq\\_depot/1999/eq\\_990817/eq\\_list.html](http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/1999/eq_990817/eq_list.html)
- Yaman, B., Köse, N. & Akkemik, Ü. (2013). Changes in stem growth rates and root wood anatomy of oriental beech after a landslide event in Hanyeri. *Turkish Journal of Agriculture And Forestry*, 37(1), 105-109. <https://doi.org/10.3906/tar-1110-28>